

第1章 はじめに

1.1 予測計算の概要

本書で解析した予測情報は、文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」(平成24～28年度)のもと、気象庁気象研究所が開発した水平解像度5kmの非静力学地域気候モデル(NonHydrostatic Regional Climate Model; NHRCM05)(Sasaki *et al.*, 2011)を用いた将来予測計算の結果に基づく。実行にあたっては、同じく気象庁気象研究所が開発した水平解像度20kmの全球大気モデル(MRI-AGCM3.2S)(Mizuta *et al.*, 2012)に海面水温・海氷被覆データを境界条件として与え、20世紀末20年分(1980～1999年、以下、現在気候とする)及び21世紀末20年分(2076～2095年、以下、将来気候とする)の計算を行った。次に、それらの結果を境界条件として、日本とその周辺を対象としてNHRCM05による計算を行った(図1.1-1参照)。

なお、今回の計算で用いたNHRCM05は「地球温暖化予測情報第8巻」(気象庁, 2013)(以下、「第8巻」とする)で用いられたものとほぼ同じであるが、鉛直方向を高分解能化(40層から50層へ)したほか、降水過程において海陸の雲底高度の違いや島の面積を考慮したことなどで、特に沖縄・奄美での降水量の再現性が改良されている(文部科学省研究開発局, 2016など)。

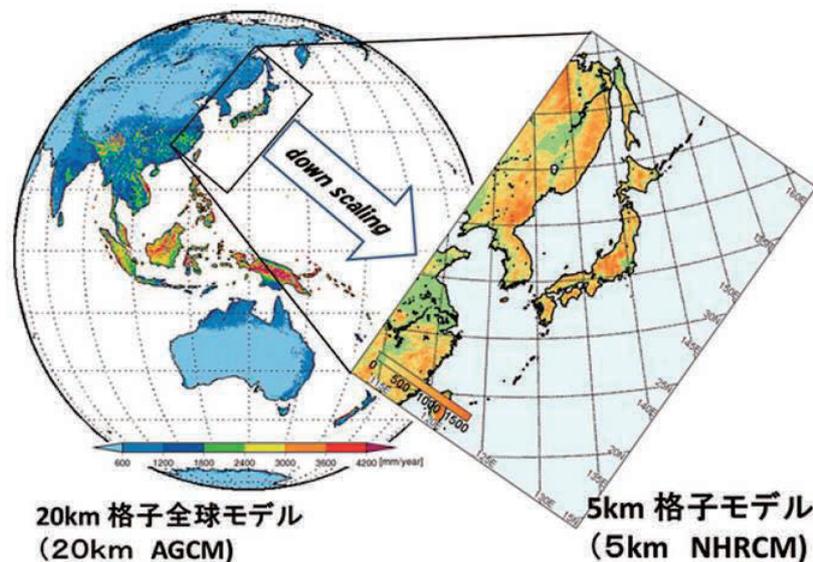


図1.1-1 NHRCM05で計算を行った領域(文部科学省研究開発局, 2014より引用)

本予測計算で与えられた温室効果ガス濃度の見通しは、IPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書(IPCC, 2013)(以下、AR5とする)で用いられたRCP8.5シナリオ(高位参照シナリオ:現時点を超える政策的な緩和策を行わないことを想定)を基にしている。このRCP8.5シナリオは、想定されている4つのRCPシナリオのうち最も温室効果ガスの排出が多く、予測される気温の上昇や大雨の頻度の増加が最も大きいことから、防災分野をはじめとして、地球温暖化による影響が最も大きな場合を想定した影響評価研究に不可欠なシナリオである(詳細は【資料1】を参照)。

また、本書の大きな特徴は、4種類の海面水温変化パターン(詳細は1.2節を参照)それぞれに対してMRI-AGCM3.2S及びNHRCM05による計算(アンサンブル実験¹)を行ったため、4種類(メンバー)の予測結果に基づいた不確実性の定量的な評価を行っていることである。

これまでの地球温暖化予測は、計算機資源の限界などから、現在気候、将来気候ともに20年程度の計算を1回ずつ行うことが多かった。このため、気候モデル(MRI-AGCM3.2SやNHRCM05

¹ 初期値にある観測(解析)誤差程度のわずかな違いや数値モデルの不完全性に基づくばらつきなどをもとに複数の計算を行い、それぞれの結果を統計的に処理する予測手法。

(第1章 はじめに)

などの総称)の信頼性自体は現在気候の再現性を評価することで確認できるが、将来気候における数年から数十年周期の自然変動の影響に伴う不確実性は定量的に評価することができなかった。この不確実性は、降水量の将来変化において特に顕著である(詳細は1.4節を参照)。しかし、本書では4メンバーの予測計算を行うことで、単一の気候モデルではあるが、20年平均値が4つ、年々変動には80年分(20年×4メンバー)のデータを用いることができた。このため、これらのデータの相互比較などにより、予測結果のばらつき具合に基づく不確実性の幅、信頼性の評価を行うことができた(詳細は【資料2】を参照)。

なお、都市化が進行した地域ではヒートアイランド現象に伴い局地的に気温が高くなるが(気象庁, 2016)、NHRCM05では都市化による影響は考慮されていない。このため、本書では、ヒートアイランド現象に伴う影響は評価していない。

1.2 海面水温データ

MRI-AGCM3.2S、NHRCM05とも大気の変動のみを予測計算する気候モデルであるため、海面水温(SST)データを別に用意し、与える必要がある。本予測計算では、Mizuta *et al.*(2014)に基づき、RCP8.5シナリオ下での4通りの予測結果を用いた。

具体的には、まず、第5次大気海洋結合モデル相互比較プロジェクト(Coupled Model Intercomparison Project Phase 5; CMIP5)で行われたRCP8.5シナリオ下での各国の全球大気海洋結合モデルから28モデル²を選択して、全モデルによる平均値を将来の海面水温の変化量の1つとする(図1.2-1(a))。次に、降水や大気循環に大きな影響を与える熱帯域のSST変化を対象にクラスター解析を行い3パターンに分類する。そして、各パターンにおいて選択されたモデルのSST分布を平均した上で、熱帯域における平均したSSTの昇温量が28モデルによる平均値と同じになるように全球のSSTの昇温量を規格化する(図1.2-1(b)~(d))。MRI-AGCM3.2S及びNHRCM05を用いて将来気候を計算する際は、現在の観測値(平均値及び年々変動)にこれらのSST将来変化パターンを加えたものを与えている。

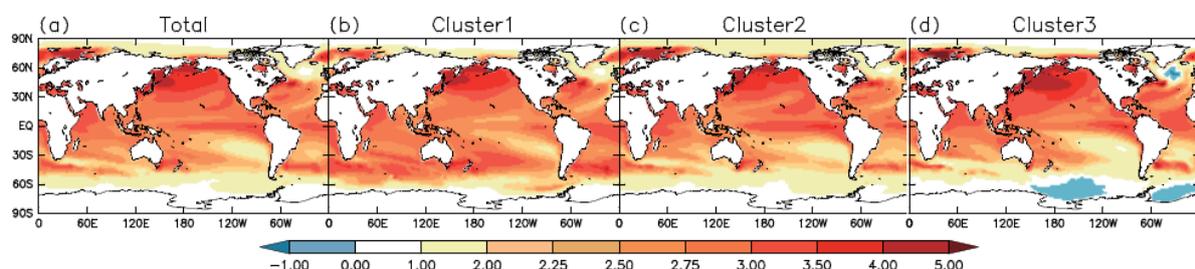


図 1.2-1 SST 分布の異なる4パターン(将来変化)

Mizuta *et al.*(2014)より引用。熱帯域のSSTの昇温量が同じになるように規格化している。

(a)28モデル平均で熱帯太平洋中～東部での昇温が大きく、エルニーニョ的な変化を示す。

(b)クラスター1(8モデル):熱帯太平洋中～東部での昇温が小さく、南北半球間のコントラストも小さい。

(c)クラスター2(14モデル):(a)よりもさらにエルニーニョ的な変化を示す。

(d)クラスター3(6モデル):熱帯太平洋中～東部での昇温が小さく、南北半球間のコントラストが大きい。

² CMIP5に提出された約60モデルの予測計算結果のうち、現在気候、RCP2.6シナリオ、RCP4.5シナリオ、RCP8.5シナリオが計算されている28モデルを選択。

1.3 解析方法

本書では、1時間ごとの計算結果（時別値）から日別値や年別値等を計算している（表 1.3-1）。これらの結果を用いて、将来気候における変化予測は、4メンバーの将来気候の気候値（20年平均値）の平均と現在気候の気候値（20年平均値）との差または比として示している（図 1.3-2(a)）。また、地域別の解析においては、日本列島の気候特性と行政界を考慮して設定された7つの地域区分（北日本日本海側、北日本太平洋側、東日本日本海側、東日本太平洋側、西日本日本海側、西日本太平洋側、沖縄・奄美；図 1.3-1）ごとに統計した結果として示している。予測として示している数値は、各地域区分内での平均または積算であって、特定の地点を代表するものではないことに留意が必要である。なお、沖縄・奄美の積雪及び降雪に関する予測については、現在の気候において観測される絶対量が少ないため、本書では解析を行っていない。

地域平均として示している要素については、将来気候と現在気候の差を棒グラフで示し、年々変動のばらつき（標準偏差）を黒い縦棒で示している（各地域とも、左：現在気候、右：将来気候）（図 1.3-2(b)）。将来気候の年々変動については、Wakamatsu *et al.* (2017)に基づき、4メンバー間のばらつき、20年間の年々変動のばらつきを算出している（詳細は【資料 2】を参照）。将来変化量が現在気候の年々変動のばらつきから離れていれば、現在気候では稀にしか観測されないような状況が将来は例年のように現れることを示唆する。将来変化の有意性の検定には、Mann-Whitney 検定を用い、信頼度水準 90%以上（両側）で有意な場合のみ「有意に増加（減少）している」と表現し、数値を赤字（青字）で表示した。なお、冬日と真冬日の日数、降水量、積雪及び降雪に関する項目については、増加（減少）を青字（赤字）で表示した。

また、気温の階級別日数、降水の階級別日数及び発生頻度については、気候モデルの出力値を観測データと比較してバイアス補正した上で変化量を算出しており（【資料 3】参照）、観測地点に対応する格子点のみを用いている。本書ではこれらの結果を、4メンバーの増減傾向が全て一致し、その変化傾向の信頼性が高いと考えられる格子点のみ 4メンバー平均値を分布図上に示している（現在気候及び将来気候ともに数値が 0 の場合は表示対象外としている）（図 1.3-2(c)）。また、図 1.3-2(b)のような地域平均を棒グラフで示した図も、バイアス補正した値で評価している。

地域ごとの季節進行図については、通年半旬別値（表 1.3-1）とその年々変動の幅を現在気候及び将来気候で示している（図 1.3-2(d)）。この図で用いる値は、【資料 3】で述べるような補正を行っていないため、バイアスを含んでいる可能性があり、数値をそのまま用いることは適切ではない。このことから、縦軸は現在気候の年平均値を基準とした偏差で示していることに注意する必要がある³。

表 1.3-1 本書における統計値の計算方法（この他は、気象観測統計指針による）

統計値	計算方法
日別値	10時～翌9時（世界標準時の1時～24時）の時別値（モデル出力値）を用いる。
通年半旬別値	1月1日に始まる5日ごとの期間で1年を73半旬に分けた個々の期間について、日別値から求める。ただし、第12半旬は2月25日から3月1日までとし、平年では5日間、うるう年では6日間とする。
月別値	当該月の1日から末日までの1か月間について、日別値から求める。
3か月別値	2月、5月、8月、11月の、前々月から当該月までの3か月間について、月別値から求める。それぞれ、冬、春、夏、秋として扱う。
年別値	9月から翌8月までの1年間について、月別値から求める。

³ ただし、雪の場合（図 4.1-3 及び図 4.2-3）は、現在気候の年平均値を基準とした偏差で示しておらず、現在気候及び将来気候の計算値をそのまま図示している。これは、暖候期において数値が 0 となることは明らかであり、縦軸の調整を行うことで不自然に見えるためである。

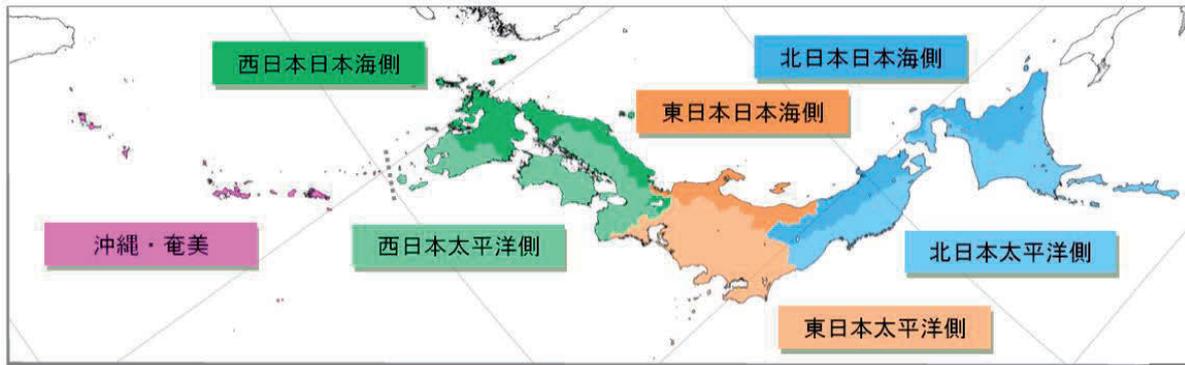
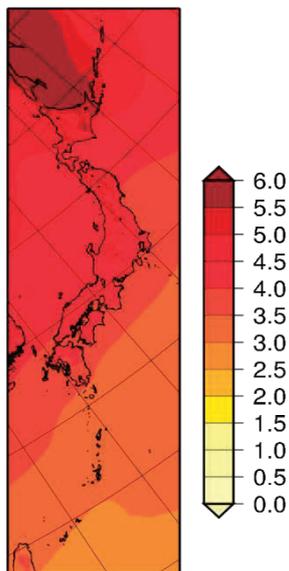
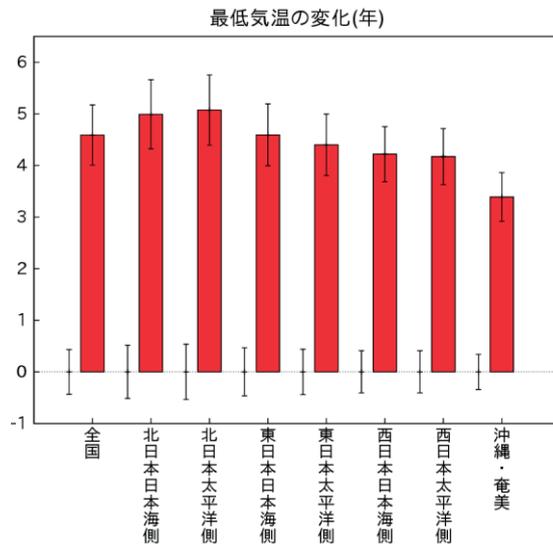


図 1.3-1 予測データの解析に用いる地域区分

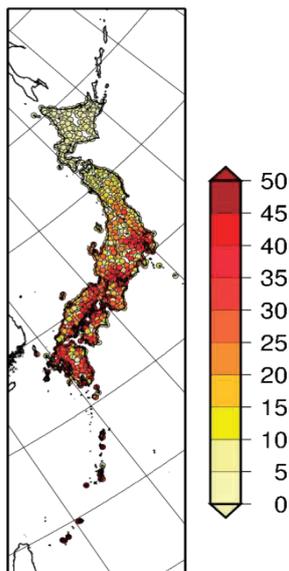
(a)



(b)



(c)



(d)

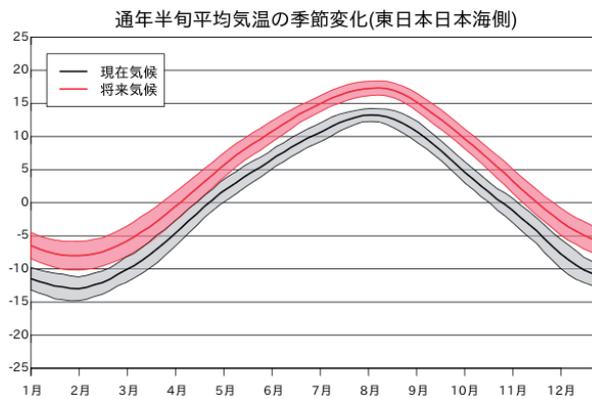


図 1.3-2 (a) 将来における変化予測分布図の例 (年平均気温)、(b) 地域平均及び年々変動のばらつきを示すグラフの例 (年最低気温)、(c) 階級別日数等の分布図の例 (年間猛暑日日数)、(d) 地域ごとの季節進行図の例 (平均気温)

1.4 利用にあたっての留意点

本書の情報を利用するにあたっては、以下の点に留意する必要がある。

① 気候モデルによる計算結果には特有のバイアスがある

気候モデルは現実の大気や海洋の運動を完璧に再現できるものではなく、計算結果には気候モデル特有の系統誤差（気候モデルが持つ特徴的な偏向、バイアス）が含まれている。このため、気候モデルによる予測値をそのまま利用するのは適切ではない。本書では、現在気候におけるバイアスが将来気候にも同じように現れるという前提のもとで、予測データを統計的に補正したものや、現在気候に対する将来気候の変化量（比）は、ある程度このバイアスの影響が除去されていると考える。

また、気候モデルの地形（山岳の起伏、海岸線、都市の存在など）も現実のものとは完全に一致するものではない上、気候モデルで再現できる現象のスケールは、水平解像度の数倍程度以上のものである。これを踏まえ、特定の地点（格子点）の結果に着目するのではなく、都道府県レベルなどある程度の広がりを持つ領域を対象として結果を解釈する必要がある。

② 地球温暖化予測では大気や海洋の自然変動のタイミングは予測対象ではない

エルニーニョ現象やラニーニャ現象などが繰り返し発生するように、大気と海洋は本来、さまざまな時空間規模で変動している。自然の大気や海洋の変動を模した気候モデルによるシミュレーション結果にも、さまざまな種類の自然変動が、温室効果ガス濃度の増加に伴う長期変化に重なって現れる。しかし、気候モデルで数年以上先の自然変動の振幅や位相（高温期や低温期のタイミング）までを正確に予測することは現状では不可能である。そのため、気候モデルの予測結果に現れる年々～数十年周期の自然変動は、地球温暖化予測の観点からは意味を持たない変動成分である。このような自然変動の影響を完全に取り除くことは困難であるが、十分長い期間にわたる計算結果を解析することで、地球温暖化に伴う長期的な気候の変化を抽出することができる。本書で現在気候、将来気候ともに20年間の統計値を用いているのはこのためである。

③ 気温に比べ、降水量の変化予測は不確実性が大きい

降水量の変化予測は、台風や梅雨期の大雨等の顕著現象の発生頻度や程度に大きく影響される。このような降水の顕著現象は気温等に比べて空間代表性が小さく（狭い地域で集中的に雨が降る等）、また発生頻度が稀であるため、解析に利用できる標本の数に限られ、確からしい系統的な変化傾向の検出が難しくなる場合がある。このため、降水量については、特定の狭い地域の変化傾向に着目せず、広域的に平均や積算した傾向として把握することで、このような問題をある程度低減することができる。

④ 地域レベルの気候変動予測では不確実性が大きくなる

地域的な気候の変化には、世界規模や大陸規模で平均的に現れる変化に比べて、エルニーニョ現象など大気・海洋の自然変動の影響が現れやすくなる。このため、地域レベルで予測される変化傾向が、より広域で見た場合の傾向と一致し、地球温暖化の影響と考えて良いかどうかという検討を行う必要がある。

⑤ 温室効果ガス排出量により将来予測結果は異なる

本書ではRCP8.5シナリオを前提とした予測結果を取りまとめたが、異なる将来予測のシナリオを採用すれば予測結果は大幅に変わる可能性がある（【資料1】参照）。また、将来予測のシナリオはあくまでも仮定に基づくものであり、実際の温室効果ガス排出量や大気中の温室効果ガス濃度は今後の社会・経済の動向に大きく左右される。

⑥ 同一の気候モデルによる4種類の計算結果である

AR5では、RCP8.5シナリオの予測において、世界各国の研究機関等による39種類の気候モデルによる予測結果が用いられており、その結果、1986～2005年平均に対する今世紀末(2081～2100年)の世界平均気温の上昇量が2.6～4.8℃となることを示している。このばらつき具合は、各気候モデルの違いによるものである。

一方、本書では、SSTが異なる4メンバーの予測結果が用いられているものの、どれも同じ気候モデルによる予測結果である。このため、基本的には同じバイアスが現れていると考えられる。また、与えられた4種類のSSTはどれも熱帯域のSSTの上昇量が同じになるように規格化されていることから、世界的な温暖化の程度も大きくは異なっていないと考えられる。この点において、本書における不確実性は、AR5によるものとは異なる。